

Marcin WOJCIECHOWSKI

Główny Urząd Miar

Samodzielne Laboratorium Elektryczności i Magnetyzmu

Pracownia Mikrofal, Pola Elektromagnetycznego i Kompatybilności Elektromagnetycznej

ZWIĘKSZENIE ZAKRESU CZĘSTOTLIWOŚCI PRACY KOMÓR GTEM

Nieustanny rozwój telekomunikacji w kierunku coraz wyższych częstotliwości pracy urządzeń nadawczo-odbiorczych wymusza ciągle zmiany ujętych w normach granicznych wartości częstotliwości badań. Przystosowane do wcześniejszych wymogów norm komory GTEM ulegają moralnemu zużyciu. Zaproponowano metodę sprawdzenia możliwości podniesienia górnego zakresu częstotliwości pracy komór.

Słowa kluczowe: komora GTEM, pomiary EMC wysokiej częstotliwości, GHz

INCREASING THE RANGE OF THE FREQUENCY OF GTEM CELLS

The constant development of telecommunications towards higher and higher operating frequencies of transceiver devices forces continuous changes in the frequency ranges of tests included in standards. Adapted to the earlier requirements of the standards, the GTEM cell becomes obsolete. A method for checking the possibility of increasing the upper range of cells' operating frequency is proposed.

Keywords: GTEM cell, EMC measurements, GHz

1. WPROWADZENIE

Komora GTEM (Gigahertz Transverse Electromagnetic Mode) jest urządzeniem pozwalającym na uzyskanie jednorodnego pola elektromagnetycznego (EM) wysokiej częstotliwości. Dzięki swej konstrukcji - zewnętrznej okładzinie wykonanej z metalu, jest bezpieczna nawet przy wytworzeniu wewnętrznego pola EM o wartości natężenia powyżej 100 V/m i jednocześnie pole EM wewnątrz komory jest pozbawione zewnętrznego widma zaburzającego. Komora z zewnątrz wygląda jak położony na bok metalowy ostrosłup o podstawie prostokąta (patrz rysunek 1). Wewnątrz umieszczono przewodzącą płytę metalową zwana „septum” połączoną z obciążeniem – matrycą o rezystancji 50 Ω . Ścianę tylną (podstawę ostrosłupa) wyłożono absorberem pochłaniającym rozchodzącą się wewnątrz komory falę EM. Na szczycie ostrosłupa jest przejściówka dopasowująca wejście koncentryczne do falowodowej struktury prostokątnej.

Komora GTEM służy między innymi do wykonywania testów odporności urządzeń na działanie pola EM wysokiej częstotliwości, w tym również do generowania prostych zaburzeń EM (fali EM o różnorodnej modulacji). Wówczas komora wyposażona jest w generator sygnałowy o zmiennej częstotliwości, szerokopasmowy wzmacniacz z pomiarem mocy i czujnik pola. Procedury kalibracji pola EM w komorze zawarte są w normie PN-EN-61000-4-20.

Komora może być również wykorzystywana do badań emisji fali EM wypromieniowanej z urządzeń umieszczonych wewnątrz komory. Wówczas wyposażeniem komory jest odbiornik fal radiowych. Poziomy dopuszczalnych zaburzeń oraz metody pomiaru emisji promieniowanej opisane są w normie PN-EN 55032:2015-09.

W Polsce w momencie włączenia do Unii Europejskiej zakupiono szereg komór GTEM w związku z wprowadzeniem nowych wymogów dotyczących badań emisji zakłóceń elektromagnetycznych. Aktualnie występuje szybki rozwój urządzeń radiowej transmisji danych w kierunku coraz wyższej

częstotliwości pracy. Telefonii komórkowa pracuje już z częstotliwością 2620 MHz. Domowe routery Internetu, TV i telefonii mają nadajniki WiFi pracujące w paśmie 5 GHz. Zwiększenie górnego zakresu częstotliwości badań odpornościowych EMC (ElectroMagnetic Compatibility) znajduje odniesienie w kolejnych wydaniach norm Unii Europejskiej. Aktualna norma PN-EN-61000-6-1:2008P „Kompatybilność elektromagnetyczna, Części 6.1: Odporność w środowisku mieszkalnym, handlowym i lekko uprzemysłowionym” w tablicy 1 „Odporność - przyłącza obudowy” podaje w „specyfikacji badania” zakres do 2,7 GHz.

W zaleceniach ITU (International Telecommunication Union) dotyczących badań w dziedzinie EMC stwierdzono konieczność podniesienia górnego zakresu częstotliwości do 6 GHz [1].

W związku z powyższym wiele komór GTEM przystosowanych do wymogów wcześniejszych norm będzie bezużytecznych. W celu sprawdzenia możliwości ich modernizacji wymagane jest przeprowadzenie niezbędnych testów.

2. WYTYCZNE DO PROJEKTU

Na rysunku 1 przedstawiony jest widok komory GTEM w Głównym Urzędzie Miar (GUM) [2]. Długość dłuższej krawędzi ostrosłupa komory wynosi 5 m, szerokość komory 2,5 m, a maksymalna wysokość „septum” ok. 1 m (nominalna 95 cm). Według danych katalogowych komora przeznaczona była do pracy w zakresie częstotliwości do 1 GHz. Po zamontowaniu wzmacniacza 200 W / 2 GHz uzyskano natężenie pola EM (bez modulacji) o wartości rzędu 100 V/m w zakresie do 2 GHz .



Rys. 1. Widok komory GTEM w GUM

Przy ustawieniu wartości narażenia polem EM zgodnej z normą na poziomie 30 V/m z modulacją AM 80% i przyjmując dopuszczalne odchylenie wzmocnienia w całym paśmie przenoszenia wzmacniacza równe 3 dB oraz zakładając stałą wartość impedancji komory w całym zakresie częstotliwości równą 50Ω i wysokość „septum” równą 0,95 m wymagana moc wzmacniacza wynosi ok. 105 W czyli 50,2 dBm. Dla tej wartości mocy napięcie na wejściu przejściówki z kabla koncentrycznego na falowód wynosi 72,5 V, a pole EM na szczycie ostrosłupa (komory) jest rzędu 11 kV/m. Przesuwając się od szczytu do podstawy ostrosłupa i przyjmując, że pole EM jest jednorodne w całym przekroju w płaszczyźnie prostopadłej do dolnej ściany leżącego ostrosłupa, wartość tego pola można wyznaczyć ze wzoru:

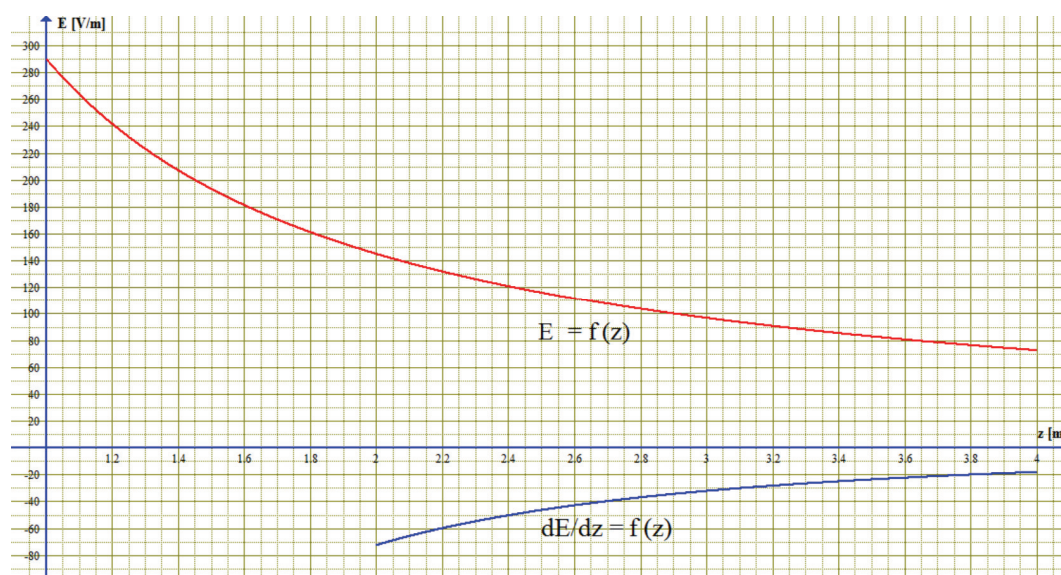
$$E = \frac{A\sqrt{P \cdot Z}}{z}, \quad (1)$$

gdzie:

E – natężenie pola EM; A – bezwymiarowa stała konstrukcyjna zależna od położenia „septum” względem dolnej ściany; P – moc sygnału na wejściu komory; Z – impedancja wejściowa; z – odległość od szczytu wzdłuż osi „ z ” komory (wzdłuż wysokości trójkąta - dolnej ściany) .

Komora GTEM przedstawiona na rysunku 1 ma następujące parametry: $A = 4$, $Z = 50 \Omega$. Wykres zależności natężenia pola EM w tej komorze od odległości z , dla wyżej wyliczonej mocy wejściowej (105 W) i w przypadku fali niemodulowanej przedstawiono na rysunku 2.

Mimo założonych uproszczeń zarówno wzór (1) jak i jego interpretacja graficzna mają istotne znaczenie praktyczne. Dużym uproszczeniem jest przyjęcie jednorodnego pola w całym przekroju, gdy wiadomo, że w płaszczyźnie najbardziej optymalnej w tym względzie, czyli tej gdzie leży nominalna wysokość „septum” pracuje się jedynie w obszarze środkowego odcinka równego 1/3 tej wysokości i norma dopuszcza odchylenie natężenia pola o 3 dB. Poza tym ze wzoru (1) wynika, że dla $z = 0$ natężenie pola powinno mieć nieskończoną wartość, a wyżej wymieniono jego skończoną wartość.



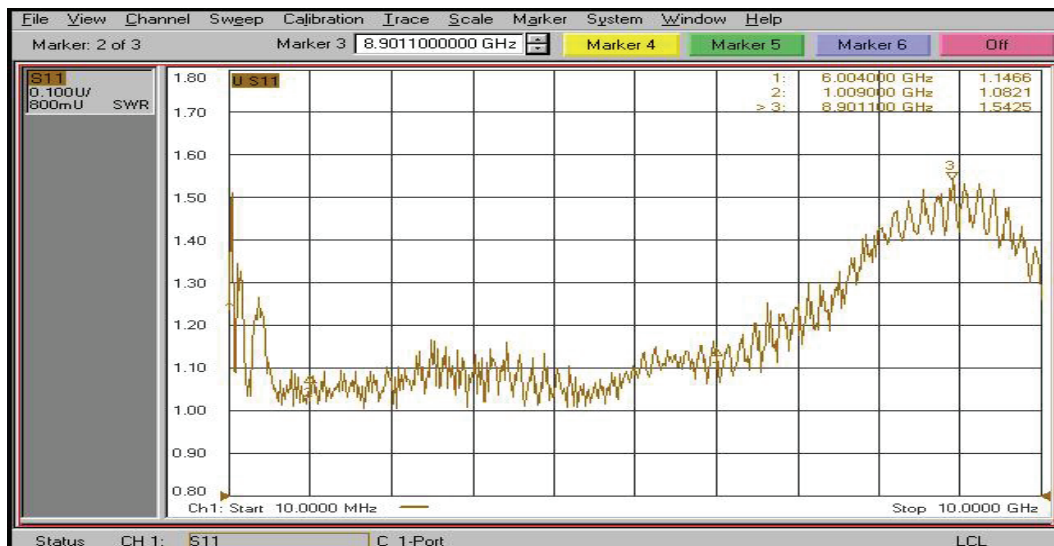
Rys. 2. Zależność pola elektromagnetycznego i jego zmiany od odległości z wzdłuż osi „ z ” od wierzchołka ostrosłupa komory GTEM w GUM

Praktyczne znaczenie ma łatwe wyznaczenie wartości natężenia pola EM i jego zmian ze zmianą odległości wzdłuż osi „ z ” w okolicy nominalnej wysokości „septum”, która dla opisanej komory znajduje się w odległości 3,8 m od szczytu ostrosłupa. Z wykresu wynika, że wartość zmian pola EM w opisanym miejscu wynosi około 0,2 V/m na każdy centymetr zmiany położenia wzdłuż osi „ z ”.

3. REALIZACJA

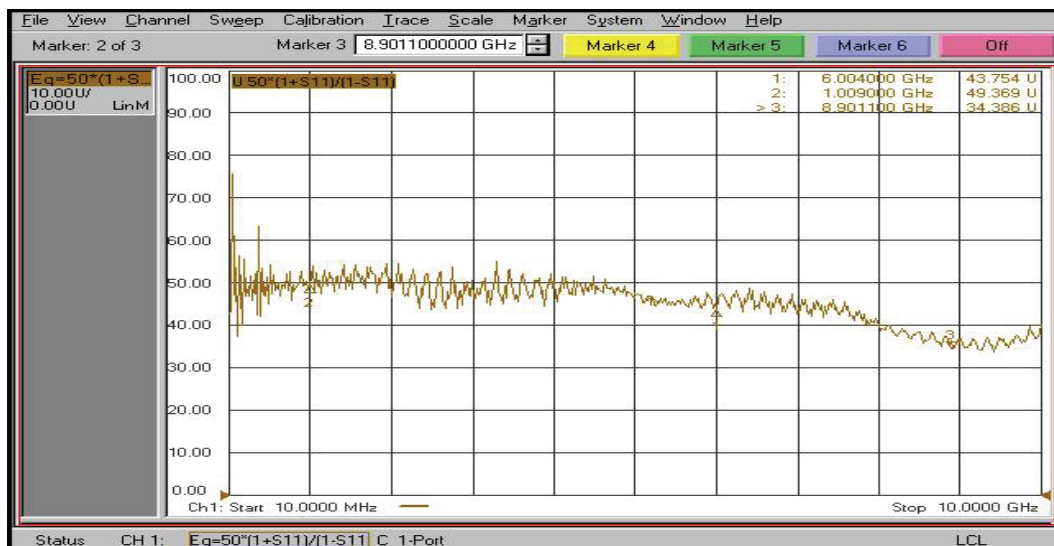
Ustalono, że najważniejszymi czynnikami do określenia możliwości modernizacji komór GTEM są współczynnik fali stojącej (SWR) i impedancja wejściowa oraz rozkład pola EM w płaszczyźnie nominalnej wysokości „septum” prostopadłej do osi „ z ” w całym zwiększonym zakresie częstotliwości [3].

Na rysunku 3 przedstawiony jest wykres zmian współczynnika fali stojącej będący ilorzem sumy i różnicy energii padającej i odbitej w całym zakresie częstotliwości od 10 MHz do 10 GHz dla komory pracującej w GUM. Do częstotliwości 6,4 GHz zmiany współczynnika mają podobny charakter. Wartość krytyczną [4] osiągają przy częstotliwości 7,3 GHz.



Rys. 3. Zależność współczynnika fali stojącej od częstotliwości sygnału w komorze GTEM w GUM

Na rysunku 4 przedstawiony jest wykres impedancji wejściowej komory GTEM w GUM w całym zakresie częstotliwości od 10 MHz do 10 GHz. Dla częstotliwości od 0,5 GHz do 7 GHz impedancja nie różni się więcej niż 7Ω od wartości znamionowej.



Rys. 4. Zależność impedancji wejściowej od częstotliwości sygnału w komorze GTEM w GUM

W celu sprawdzenia jednorodności pola w rozszerzonym paśmie będzie wykorzystany wysokiej precyzji generator sygnałowy SMR20 oraz dedykowany do tego celu wzmacniacz mikrofalowy o następujących parametrach: zakres częstotliwości (0,1 ÷ 8) GHz; wzmocnienie 14 dB \pm 2dB, w paśmie (2 ÷ 6) GHz \pm 1 dB; moc wyjściowa 1 W (-1 dB kompresji).

4. PODSUMOWANIE

Zaproponowany w rozdziale 2 wzór jest najprostszym modelem matematycznym do określenia zmian pola EM przy zmianie położenia punktu pomiarowego wzdłuż wektora Poyntinga w okolicach optymalnej wartości wysokości „septum” w komorze GTEM. Może posłużyć do wstępnej oceny pomiarów pola EM.

Metoda oceny możliwości zwiększenia zakresu częstotliwości pracy komory GTEM przez pomiar współczynnika fali stojącej i impedancji wejściowej oraz test jednorodności pola EM w komorze GTEM jest prosta i pozwala na uzyskanie poprawnego wyniku. Wykonane pomiary dwóch pierwszych parametrów komory GTEM w GUM wykazują możliwość zwiększenia jej zakresu pracy do częstotliwości 7 GHz. Ostateczna ocena zapadnie po teście jednorodności pola EM.

LITERATURA

1. EMC requirements for telecommunication network equipment (1 GHz – 6 GHz), Recommendation ITU-T K.80, Geneva, Switzerland, 07/2009.
2. Kłos G., Widłaszewski W., Ziółkowski M.: Badanie odporności urządzeń elektronicznych na promieniowane pole elektromagnetyczne w komorze GTEM, Materiały XI Konferencji „Podstawowe Problemy Metrologii”, Ustroń, 14-17 maja 2006.
3. Nothofer A., Alexander M., Bozec D., Marvin A., McCormack L.: Measurement Good Practice Guide No. 65, The use of GTEM cells for EMC measurement, NPL, United Kingdom, 2006.
4. Steinbach D., Measurements using GTEM-units, MEB – Messelektronik, Berlin, Germany, 1999.